

Д. И. Давыдов, Н. Н. Степанова, Н. В. Казанцева
Институт физики металлов УрО РАН,
г. Екатеринбург
davidov@imp.uran.ru

СТРУКТУРА И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВА CO-19%AL-6%W

Проведено исследование сплава Co-19 ат.%Al-6 ат. %W, полученного разными методами. Обнаружено, что фазовый состав сплава и его магнитные свойства зависят от скорости охлаждения слитка после плавки. Определены температуры Кюри всех обнаруженных в сплаве фаз. Формирование в сплаве интерметаллидной фазы Co_7W_6 увеличивает коэрцитивную силу и снижает намагниченность насыщения в 1,5 раза.

Ключевые слова: магнитные свойства, кобальтовые сплавы, фазовые переходы.

Alloy Co-19at.%Al-6 at.% W obtained by different methods have been investigated. It was found that phase composition of the alloy and its magnetic properties are dependent on the cooling rate of the ingot after melting. Curie temperature of all detected in the alloy phase were determined. Formation of the Co_7W_6 intermetallic phase in the alloy increases coercive force and decreases saturation magnetization by 1.5 times.

Keywords: magnetic properties, cobalt alloys, phase transitions.

В настоящее время большое внимание привлечено к сплавам системы Co-Al-W. Эти сплавы рассматриваются как перспективные жаропрочные материалы обладающих ферромагнитными свойствами [1]. При этом в литературе отсутствует подробная диаграмма состояния системы Co-Al-W. В большинстве работ диаграммы построены расчетным путем и сильно расходятся между собой [2, 3].

Сплавы системы Co-Al-W относятся к материалам с большим различием в температурах плавления и с разным удельным весом компонентов. В результате в литом состоянии, наряду с дендритной ликвацией, также возможна неоднородность в распределении химических элементов по высоте слитка. Для повышения однородности образцов обычно используют механическую обработку (прокатка, ковка, гидроэкструзия и проч.) в сочетании с высокотемпературным отжигом. Однако для многокомпонентного сплава со сложной диаграммой состояния, применение различных видов термомеханической обработки может существенно повлиять на его фазовый состав и свойства.

Данная работа посвящена выбору исследованию влияния способов получения и различных видов термомеханической обработки на магнитные свойства и структурно-фазовое состояние сплава системы Co-Al-W.

Сплав состава Co-19 ат.% Al-6 ат.% W был получен двумя способами выплавки в инертной среде: дуговая плавка с разливкой в медную водоохлаждаемую изложницу (образцы 1, 2) и плавка в индукционной печи с разливкой в керамическую изложницу (образец 3, 4). Полученные цилиндрические слитки диаметром 18 мм были исследованы в четырех различных состояниях: образец 1 – литой; образец 2 – литой с последующей термообработкой: отжиг 1200 °C, 10 ч, закалка в воде; образец 3 – литой после свободнойковки при температуре 1200 °C с уменьшением диаметра на 15 %; образец 4 – литой с последующей свободнаяковкой и отжигом при температуре 1200 °C, 10 ч, охлаждение с печью.

Исследования структуры проведены в отделе электронной микроскопии Испытательного центра нанотехнологий и перспективных материалов ИФМ УрО РАН с использованием сканирующего микроскопа растровый электронный микроскоп JSM 6490 с приставками для энергодисперсионного и волнового микроанализа Oxford Inca. Рентгеноструктурный анализ был выполнен с помощью рентгеновского дифрактометра ДРОН-3, излучение Cu K_{α} . Термический анализ был выполнен с помощью термического анализатора STA 449 C Jupiter. Для измерений намагниченности образца использован вибрационный магнитометр Lake Shore 7407, измерения проведены в магнитных полях до 17 кЭ в температурном диапазоне от комнатной температуры до 1000 °C.

Структура сплава меняется в зависимости от термической или термомеханической обработки. В литом образце (1), полученном дуговой плавкой с быстрым охлаждением слитка, можно отметить значительную неоднородность химического состава слитка. В участке, вырезанном из середины слитка, в среднем, обнаружено меньшее содержание вольфрама и большее обогащение по кобальту, чем заложено в исходном составе.

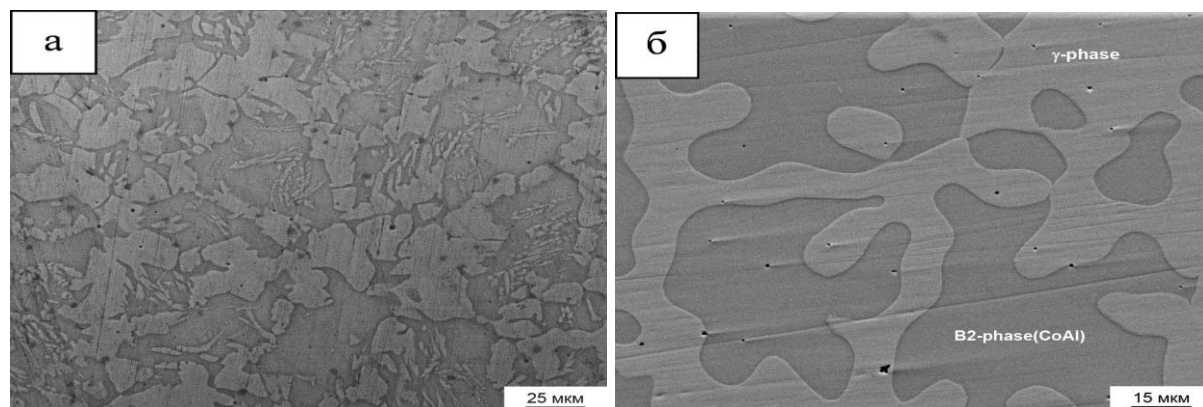


Рис. 1. Структура сплава, полученного методом дуговой плавки:

а – литой; *б* – после отжига

Структура образца (1) очень мелкая, она состоит из чередующихся областей γ твердого раствора, фазы $\text{Co}(\text{Al}, \text{W})$ (B2) и тонких пластинок $\text{Co}_3(\text{Al}, \text{W})$ (DO_{19}), наблюдаемых внутри областей γ -фазы (рис. 1, а).

Проведение гомогенизирующего отжига этого сплава приводит к выравниванию состава по кобальту и алюминию. В структуре образца(2) происходит сглаживание межфазных границ, исчезновение тонких пластинок $\text{Co}_3(\text{Al}, \text{W})$ и формируется фазы $\gamma + \text{B2}$ (рис. 1, б).

Для плавки в индукционной печи была предварительно приготовлена лигатура, что привело к созданию более однородного химического состава. Послековки литого образца (3) в структуре наблюдается большое количество дисперсных выделений (рис. 2, а), состав которых соответствует интерметаллиду Co_7W_6 (μ -фаза). Отжиг кованого образца при 1200°C (рис. 2, б) приводит к увеличению размера всех структурных составляющих и к увеличению количества μ -фазы.

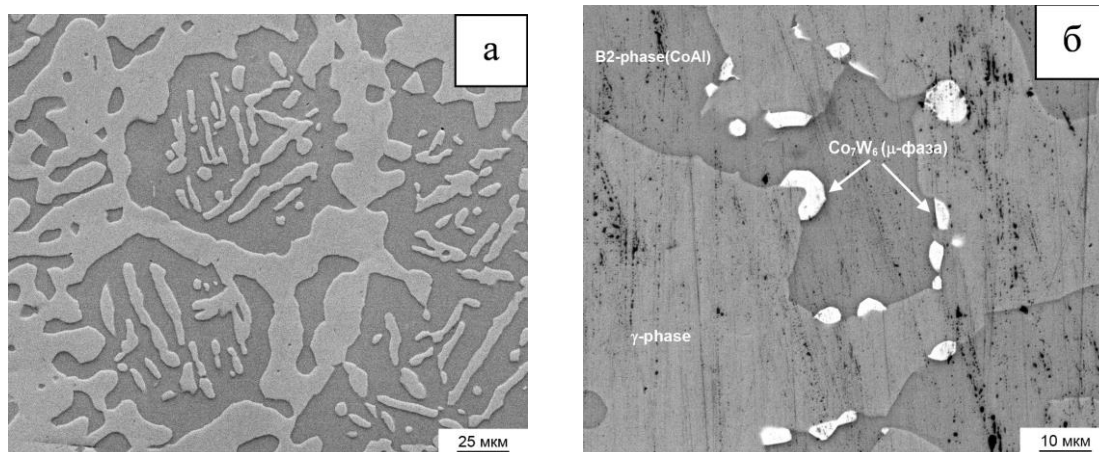


Рис. 2. Структура сплава, полученного методом индукционной плавки:
а – сплав после свободнойковки, б – сплав после свободнойковки и отжига

Согласно равновесной диаграмме состояния Co-Al интерметаллидная фаза CoAl образуется из жидкости и имеет широкую область гомогенности, достигающую 70 ат.% Co . В тройной системе Co-Al-W эта интерметаллидная фаза также имеет широкую область гомогенности. Появление интерметаллидной фазы Co_3Al в сплаве, полученном дуговой плавкой, можно связать со скоростью охлаждения слитка, при которой образец проходит высокотемпературный участок равновесной диаграммы состояния с областью существования интерметаллидной Co_3Al , но минует низкотемпературную зону существования интерметаллидной фазы Co_7W_6 . Также можно отметить, что дуговая плавка создает сильную неоднородность по химическому составу, что способствует формированию зон, обогащенных по кобальту. Согласно равновесной диаграмме состояния фаза Co_3Al также имеет широкую область гомогенности, почти до 80 ат.% Co .

Образование низкотемпературной μ -фазы (Co_7W_6) происходит как на границах зерен, так и на межфазных границах. Отжиг кованого образца при 1200 °С (образец 4) приводит к увеличению размера всех структурных составляющих и к увеличению количества μ -фазы.

Анализ магнитных свойств материала, изученного в данной работе, показал, что магнитные параметры, такие как коэрцитивная сила, намагниченность насыщения, остаточная намагниченность, однозначно связаны с его фазовым составом и структурой. Исследованный сплав Co-19 ат. %Al-6 ат. %W имеет высокую намагниченность насыщения, малое значение коэрцитивной силы, что может быть использовано для производства современных магнитопроводов, работающих в условиях высоких температур. Присутствие в структуре сплава интерметаллидной фазы Co_7W_6 (μ -фаза) значительно (в полтора раза) понижает намагниченности насыщения и увеличивает значение коэрцитивной силы. Эта фаза является нежелательной с точки зрения эксплуатационных свойств исследованного сплава.

Работа выполнена по бюджетной теме ИМФ УрО РАН «Кристалл» с частичной поддержкой гранта РФФИ № 14-08-00108.

Список литературы

1. *Мишин Д. Д.* Магнитные материалы : уч. пособие / Д. Д. Мишин. М.: Высшая школа, 1981. 335 с.
2. *Sato J.* Cobalt-base high-temperature alloys / J. Sato, T. Omori, K. Oikawa, I. Ohnuma, R. Kainuma, K. Ishida // Science. 2006. P. 312.90–91.
3. *Dmitrieva G.* Al–Co–W fusion diagram in the Co–CoAl–W part / G. Dmitrieva, V. Vasilenko, I. Melnik // Chem. Met. Alloys. 2008. N 1. P. 338–342.